

2016, Volumen 1, Número Especial: 86-102
“La Historia de la Geología en el Bicentenario de la Argentina”

La historia de la geocronología en La Plata: el Proyecto Borrello

Carlos A. Cingolani¹

¹División Geología del Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/n, La Plata y Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), Universidad Nacional de La Plata-CONICET, carloscingolani@yahoo.com



La historia de la geocronología en La Plata: el Proyecto Borrello

Carlos A. Cingolani¹

¹División Geología del Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/n, La Plata y Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), Universidad Nacional de La Plata-CONICET, carloscingolani@yahoo.com

"I am confident that someday the concept of geologic time will be acclaimed as one of the more wonderful contributions from natural science to general thought". (ALBRITTON, C. C. JR. 1980. *The Abyss of Time: Changing Concepts of the Earth's Antiquity after the Sixteenth Century*. Freeman-Cooper, San Francisco).

RESUMEN. El Dr. Angel V. Borrello hacia fines de la década de 1950 y principios de 1960 planificó la creación del primer laboratorio de Geocronología Rb-Sr en el país, con su instalación en la sede del Departamento de Geología de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata (CIC). Este hecho pionero que señalo aquí como 'Proyecto Borrello', fue un ambicioso desafío que se animó a enfrentar en aquellas épocas, consciente de la potencialidad de la investigación geocronológica en Argentina. Aconsejado por el especialista Dr. John Reynolds (Berkeley, USA) y también por el Dr. Umberto Cordani (SP, Brasil) quien iniciaba su liderazgo sudamericano en la temática, Borrello se decidió a instalar un laboratorio que pudiera ser superador y complementario de la metodología K-Ar que ya estaba en funcionamiento en San Pablo, Brasil. Logró el apoyo de la CIC para la instalación de la parte correspondiente a la trituration y concentración de minerales y el laboratorio 'limpio' de geoquímica. Este debía contar con estándares isotópicos, columnas cromatográficas, todo lo correspondiente a la purificación de reactivos y por otro lado la instalación del equipo denominado espectrómetro de masas (NUCLIDE, USA). El fallecimiento prematuro del Dr. Angel Borrello en 1971, fue el factor fundamental para que el ambicioso proyecto quedara inconcluso y se retrasaran las investigaciones geocronológicas en el país.

Palabras clave: CIC Buenos Aires, Borrello, Rb-Sr, Geocronología

ABSTRACT. **The history of geochronology in La Plata: Borrello's Project.** Dr. Angel V. Borrello in the late 1950s and early 1960s planned the first Rb-Sr geochronological laboratory in Argentina, at the Department of Geology of the Commission for Scientific Research at the Buenos Aires province in La Plata. This pioneering fact that I point out here as 'Borrello Project' was an ambitious challenge, aware of the potential of the geochronological research in Argentina. Advised by specialist Dr. John Reynolds (Berkeley, USA) and also by Dr. Umberto Cordani (SP, Brazil) who initiated its South American leadership in the field, Borrello was decided to install a laboratory that could be complementary to the K-Ar method that was already in operation in Sao Paulo, Brazil. He

obtained the support of the CIC from Buenos Aires province for the laboratory of crushing and mineral concentration and for 'clean' geochemistry. This should have isotopic standards, chromatographic columns, all corresponding to the purification of reagents and the installation of mass spectrometer equipment for measuring samples (NUCLIDE, USA). Borrello was death in 1971 at the age of 53 and that was the main factor for the ambitious project remained unfinished and geochronological investigations were delayed in the country.

Key words: *CIC Buenos Aires, Borrello, Rb-Sr, Geochronology*

Introducción

Hacia fines de la década de los años 50' y principios de los 60', un egresado del Museo de La Plata, el joven Dr. Angel Vicente Borrello (1918-1971) se desempeñaba como Profesor de Geología Histórica de la Universidad Nacional de La Plata, Jefe del recientemente creado Departamento de Geología de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos y Jefe de la División Geología del Museo La Plata (Fig. 1). Como alumno de la carrera de Geología y como discípulo después, pude comprobar su notable dedicación y esfuerzo demostrado permanentemente en aspectos que hacían a la 'obra institucional', como por ejemplo organizar laboratorios con metodologías de punta, mejorar ficheros bibliográficos, ampliar lugares de trabajo, procurar fondos a través de convenios para adquisición de vehículos y elementos para realizar viajes de campo, entre otros. Además trató Borrello de dar impulso a los *estudios geotectónicos* en el país, si bien para esa época el paradigma geológico era la teoría geosinclinal y no obstante haber tenido una formación aplicada a la geología de los combustibles sólidos primero y estratigráfica después, reconoció rápidamente la importancia del magmatismo en los procesos de la evolución geológica. En esos esquemas daba mucha importancia a los estudios de la corteza cratónica, los cinturones 'geosinclinales', los eventos de granitización y el magmatismo básico de tipo ofiolítico (Borrello, 1961; 1969).



Figura 1. A la izquierda el Dr. Borrello durante el viaje donde participó en el XXII Congreso Internacional de la India en 1964 (Nueva Delhi). A la derecha foto tomada en la Legislatura de la Provincia de Buenos Aires, en el momento de asumir un nuevo mandato como miembro vocal del Directorio de la CIC en 1968. En el sector izquierdo de la foto el entonces Presidente de la CIC Dr. Alejandro J. Arvía, al centro el Interventor de la Provincia Gral. Francisco Imaz.

Por ello planificó con mucho esfuerzo, la creación del primer laboratorio de *Geocronología Rb-Sr* en el país, con su instalación en la sede de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), situada en la calle 526 entre 10 y 11 de La Plata. Este hecho pionero que desarrollo a lo largo de este trabajo como el Proyecto Borrello, fue un ambicioso desafío que se animó a enfrentar, consciente que el mejor ámbito físico serían las nuevas instalaciones de la CIC. Allí se desempeñó como miembro vocal con carácter honorario del Directorio, fundador desde 1957 y luego confirmado por otro período a partir de 1968 hasta su fallecimiento, dentro de la llamada 'área de Ciencias Naturales no Biológicas'. Creó el Departamento de Geología en esa institución ocupando parte del edificio que fuera inaugurado en 1960 (Fig. 2)



Figura 2. A la derecha el edificio actual de la CIC de la Provincia de Buenos Aires, situado en La Plata. Izquierda la placa conmemorativa de la inauguración del edificio por parte de las autoridades nacionales y provinciales en 1960. En el listado de vocales del Directorio aparece el nombre del Dr. Angel V. Borrello.

Por otra parte en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), con la activa participación del Dr. Pedro N. Stipanovic y el Dr. Enrique Linares, se habían iniciado las dataciones geocronológicas por el método Pb-alfa o Larsen con datos presentados en catálogos y revistas del país. Este primer avance científico llevó posteriormente a la creación del INGEIS hacia fines 1969 e inicio de 1970 como la primera institución especializada en la geocronología y geología isotópica en el país. Al inicio el INGEIS desarrolló fundamentalmente la metodología K-Ar a cargo del Dr. E. Linares en la sede la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, ocupando parte del entresuelo del entonces nuevo edificio del Pabellón II en la ciudad universitaria. Desde su inicio el INGEIS funcionó por convenio entre la CNEA, el CONICET y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Contexto científico y político

En todo análisis histórico es importante señalar cuál era el contexto científico y político para poder comprender con objetividad los hechos ocurridos. El avance científico internacional producido hacia fines del siglo XIX con el conocimiento de los rayos X y de la radioactividad representó para las ciencias exactas y también para las ciencias de la Tierra, hitos importantes que traerían consecuencias revolucionarias. Esto permitió que autores como el Dr. Arthur Holmes (Imperial College, Inglaterra) llegara a proporcionar siendo un joven geólogo de 23 años (Holmes, 1913), las primeras escalas de tiempo geológico, incluyendo datos del Precámbrico llegando hasta 1600 Ma. Amplió así drásticamente lo que se había propuesto anteriormente con los trabajos de Lord Kelvin y otros investigadores. Su formación geológica pero con amplios conocimientos de Física, le permitieron luego a Holmes dar una explicación coherente sobre los procesos del calor interno terrestre para proponer la actividad de convección en el manto terrestre y explicar el movimiento de los continentes. Así Holmes reunió dos paradigmas que estaban naciendo: el conocimiento del tiempo geológico profundo y la deriva continental.

Por sus trabajos recibió al inicio severas críticas de sus pares, porque el proceso de datación ‘absoluta’ tenía aparentes incongruencias geológicas. En una nota presentada en *Nature* (Holmes, 1962) expuso claramente su opinión recomendando la no utilización del término ‘edad absoluta’, que se registraba frecuentemente en publicaciones para distinguir de la ‘edad relativa’ que clásicamente los geólogos y paleontólogos solían utilizar.

Entre otros de la época también destacamos los trabajos de C. Patterson quien tras arduos esfuerzos para desarrollar su tesis doctoral, creando la necesidad de laboratorios ‘ultra limpios’ para evitar la contaminación del Pb atmosférico, llegó a determinar la edad de la Tierra en 4450 ± 70 Ma (Patterson, 1956). Calculó esta edad utilizando isótopos de Pb en los laboratorios del famoso *CalTech* (California, USA), datación que aún permanece como válida.

Paralelamente en Berkeley, California, desarrollaba sus investigaciones sobre gases nobles en meteoritos el Dr. John Reynolds, quien luego se constituiría en un especialista mundial en la denominada ‘Xenología’. Tan importante fue su trabajo que llegó a desarrollar un espectrómetro de masas para la medición de isótopos de gases que pasó a denominarse ‘tipo Reynolds’. Luego, con una encomiable visión y generosidad, postuló y obtuvo un apoyo económico de la *National Science Foundation* (USA) para montar un laboratorio con la metodología K-Ar en Sudamérica que sería el primero en un ámbito con amplias posibilidades de desarrollo. En este sentido Reynolds viendo la rápida y buena predisposición de las autoridades del Departamento de Geología de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, decide finalmente la donación a esa institución (Cordani, 2014), comprometiéndose además a supervisar el montaje, calibración y funcionamiento de equipos de manera personal (Fig. 3).

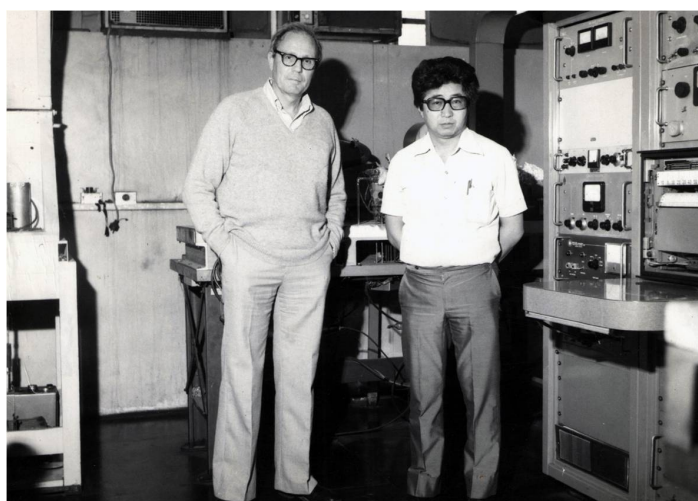


Figura 3. El Dr. J. Reynolds en el Centro de Pesquisas Geocronológicas, SP, Brasil, acompañado por el Dr. K. Kawashita durante la instalación del espectrómetro ‘tipo Reynolds’ para argón en 1964. Foto gentileza Dr. U. Cordani.

Así nació el Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) en Sao Paulo, Brasil en 1964, con la activa participación del Dr. Umberto Cordani (Fig. 4) y colaboradores destacados como el Dr. Koji Kawashita. Se conformó de esta manera el laboratorio pionero en las investigaciones geocronológicas en Sudamérica habiendo cumplido ya 52 años de crecimiento continuo, logrando el más completo equipamiento de toda la región y generando una fuerte influencia positiva en el ámbito sudamericano. Inclusive señalamos que fue calificado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil como “Centro de Excelencia Científica”. Cabe consignar que en 1967 se publicaron en la revista *Science* (Hurley *et al.*, 1967) los datos obtenidos en colaboración entre integrantes del CPGeo y el MIT sobre ‘*Test on continental drift by comparison of radiometric ages*’ que causó fuerte impacto en la comunidad científica internacional. Asimismo el Dr. Fernando F. M. de Almeida, de Brasil, a fines de los años 60’ había adelantado trabajos sobre la evolución de la plataforma sudamericana, con los primeros datos geocronológicos y postuló la división de los ciclos tecto-magmáticos y brindó los nombres de los ambientes cratónicos principales, con apoyo de las investigaciones isotópicas (Almeida, 1971).



Figura 4. El Dr. Umberto G. Cordani durante el I Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, SP, Brasil, 1997.

Por otra parte en Argentina, comenzaba a notarse un creciente interés por los análisis geocronológicos encabezados por los profesionales que trabajaban en la CNEA creada en 1950, especializados en la mineralogía del uranio. Aquí se destaca la labor de los Dres. Pedro Stipanovic, Enrique Linares y Carlos O. Latorre. Los primeros datos isotópicos han quedado registrados en diversas publicaciones y reunidos en un primer catálogo (Stipanovic & Linares, 1975). En este se señalan entre 1960 y 1974 unas 470 determinaciones radimétricas, de las cuales 87 fueron por el método Rb-Sr todos en laboratorios del exterior, el resto por K-Ar la mayoría realizados en INGEIS y CPGeo (Brasil) y Plomo-alfa en la CNEA. Entre las primeras publicaciones registradas en el país señalamos a: Linares, E. (1961); Cazeneuve (1965, 1967); Linares (1966); Stipanovic (1967); Cortelezzi & Cazeneuve (1967); Cortelezzi & Dirac (1969); Dessanti & Caminos (1967); Linares & Latorre (1969); Valencio *et al.* (1970); Halpern & Linares (1970) entre otros. Aquí ya comienza a notarse, el interés creciente de los científicos que desarrollaban las primeras investigaciones paleomagnéticas dirigidas por el Ing. Daniel Valencio en la Universidad de Buenos Aires, que necesitaban contar con edades precisas para las interpretaciones paleogeográficas. En 1970 tuvo lugar en el Centro Cultural San Martín de la ciudad de Buenos Aires, un importante evento vinculado a las ciencias de la Tierra, fue la denominada Conferencia del Manto Superior o de la Tierra Sólida (Fig. 5) donde científicos de varios países discutieron los avances de las modernas líneas de investigación y los progresos realizados en las temáticas de punta como el paleomagnetismo, la geocronología, la deriva continental y la evolución de Gondwana. En este acontecimiento participaron activamente los Dres. F. F. M. de Almeida, P. Stipanovic, U. Cordani, E. Linares, C. Latorre, A. Borrello, el Ing. D. Valencio y otros especialistas sudamericanos (Fig. 5).



Figura 5. Fotografía de una de las reuniones efectuadas durante el Simposio del Manto Superior en Buenos Aires. Participan el Dr. E. Linares como miembro del comité organizador, el Dr. U. Cordani (ambos de frente) y en el extremo izquierdo el Ing. D. Valencia y a su lado de espaldas el Dr. C. Latorre. Foto gentileza Dr. U. Cordani.

Por otro lado el contexto político argentino en la década de 1960 fue pasando por instancias muy cambiantes, desde gobiernos militares, o aquellos por resultados de elecciones pero con proscripciones de algún partido político, otros democráticos sin proscripciones, cambios permanentes o intervenciones en los gobiernos provinciales y el crecimiento de la violencia armada. Por supuesto que este panorama de incertidumbre no era favorable para el desarrollo del ámbito académico y universitario argentino, con frecuentes problemas de cierre de las instituciones, cambios en el plantel de investigadores y profesores, culminando todo con un golpe militar en 1976.

El proyecto de instalación de un laboratorio Rb-Sr

La CIC de la provincia de Buenos Aires desde su creación por Decreto Provincial de Diciembre de 1956 (inclusive es anterior al CONICET originado por Decreto Nacional de 1958) comenzó funcionando en una casa alquilada en el centro de La Plata, siendo designado Presidente de la misma el Físico Dr. Héctor Isnardi, y el Dr. Angel V. Borrello como vocal miembro del Directorio. Hacia 1960 la CIC inauguró el edificio propio en la calle 526 entre 10 y 11 de la ciudad de La Plata (Fig. 2), que contó con la presencia en el acto del Presidente de la Nación Dr. Arturo Frondizi y el Gobernador Dr. Oscar Alende (ambos de la Unión Cívica Radical Intransigente). A partir de este momento logró Borrello, además de ocuparse como Secretario de Publicaciones, crear el Departamento de Geología, que se ubicaba en un ala del primer piso del nuevo edificio, con espacios amplios y suficientes para laboratorios y gabinetes. Con esta posibilidad Borrello planifica los temas centrales de su gestión a cargo del mencionado Departamento, a saber: Geología del delta del Paraná, la Sierra de la Ventana con especial atención al basamento y las secuencias siluro-devónicas, las Sierras Septentrionales o sistema de Tandilia, con su basamento conformando parte del cratón del Río de la Plata y la cobertura de la 'Formación La Tinta', impulsó los estudios del Cuaternario, la hidrogeología superficial y

subterránea y la evolución tectónica del territorio bonaerense. En este contexto Borrello que había iniciado sus investigaciones geotectónicas, se interesó fuertemente en el magmatismo dentro de la evolución orogénica. Lo cual de acuerdo a los trabajos pioneros de Holmes ya mencionados y otros que propusieron nuevas escalas estratigráficas (Kulp, 1955; 1961) vislumbró claramente la necesidad de contar con datos geocronológicos precisos. Maduró así Borrello, luego de consultar con personalidades de la geología sudamericana como el Dr. Fernando F. M. de Almeida, la idea de llegar a montar un laboratorio de ese tipo dentro del Departamento de Geología de la CIC. Finalmente aconsejado por expertos como el Dr. J. Reynolds y también por el Dr. U. Cordani (SP, Brasil) quien iniciaba su labor de especialización, se decidió a programar la instalación de un laboratorio que pudiera funcionar con la metodología Rb-Sr, que de alguna manera podría ser superador y complementario de K-Ar. Esta última sistemática requiere la determinación de K (elemento abundante en ciertos minerales) y por otro lado la extracción de Ar que como gas noble queda retenido en la estructura cristalina, por lo que en definitiva las edades se consideran de ‘enfriamiento’ o sea el momento en que la roca/mineral alcanzaron la temperatura mediante la cual el Ar queda retenido. El método Rb-Sr por otra parte es metodológicamente diferente trabajando exclusivamente con ‘sólidos’ y en esos años era novedoso para la determinación de edades antiguas. No había en esos momentos ningún laboratorio sudamericano que tuviera esta metodología en actividad, por lo que fue bien madurada por Borrello la idea de llevar adelante un proyecto Rb-Sr con sede en la CIC de La Plata, cuyas etapas de desarrollo histórico paso a relatar a continuación.

El primer grupo de trabajo

A principios de la década de 1960, decidido entonces el tipo de metodología a utilizar en los estudios geocronológicos y contando con el apoyo del Directorio de la CIC, procedió Borrello a formar el grupo de trabajo con profesionales que también tenían funciones docentes y de investigación en la Universidad Nacional de La Plata. Así se integró el Licenciado en Geología José A. Venier (Pepe) quien como ex-alumno de Borrello se incorporó como contratado al plantel de investigadores de la CIC que ya funcionaba en el nuevo edificio en las afueras de La Plata (Fig. 2). Poco más tarde fueron requeridos los servicios de un profesional de la Física por lo que el Lic. Horacio Cazeneuve quien integró la Comisión Especial de Física Atómica y Radioisótopos (CEFAR) de reciente creación en la Universidad Nacional de La Plata, fue incorporado como colaborador en los aspectos de calibración y puesta a punto de equipos del laboratorio. Tanto Venier como Cazeneuve concretaron estadías de especialización (1964-65) en el Centro de Pesquisas Geocronológicas de San Pablo, Brasil, bajo la dirección del Dr. Umberto Cordani. Este investigador se va a constituir en un gran impulsor de la geocronología en Sudamérica, contando con el apoyo invalorable del Dr. Koji Kawashita, quien dedicó sus primeros esfuerzos a la datación de rocas sedimentarias por el método Rb-Sr. De los profesionales designados por Borrello, el que había reunido una experiencia con radioisótopos hasta ese momento era H. Cazeneuve, con publicaciones sobre radiocarbono, K-Ar y la utilización de trazadores (Cazeneuve, 1965). En otras tareas de apoyo cumplían funciones el Téc. D. Roberto Di Giovambattista, el Téc. Químico Oscar Serrano y el señor Fazio para la parte administrativa. También formó parte desde las primeras etapas el Lic. Osvaldo C. Schauer, pero afectado a tareas no vinculadas directamente con la geocronología. Entre 1964 y 1966 fuimos incorporados Ricardo Varela y el suscripto como estudiantes colaboradores auxiliares en el Departamento de Geología de la CIC.

Equipamiento del laboratorio y sistemática Rb-Sr

Es conocido que para analizar isótopos es necesario contar con laboratorios ‘limpios’ y equipamiento específico. Así Borrello logró el apoyo de la CIC para la instalación de la parte

correspondiente a la trituration y concentración de minerales, el laboratorio de geoquímica que debía poseer estándares, columnas cromatográficas, todo lo correspondiente a la purificación de reactivos y asimismo el equipo para medición de las muestras especialmente preparadas denominado espectrómetro de masas. El equipamiento del Departamento se completó con microscopio de polarización Leitz, con platina universal y accesorios, plancheta Wild, telémetro, mapoteca, y todo lo necesario para el funcionamiento de gabinetes y hasta vehículo para campañas.

La metodología de laboratorio Rb-Sr (Varela, 1973; Cingolani & Deutsch., 1973) incluía la trituration de rocas y tamizado o eventualmente separación de minerales. Luego se procedía al ataque químico bajo campana de extracción, con cápsulas de platino o teflon, ambiente de nitrógeno y medio ácido de perclórico-fluorhídrico. Se agregaba el trazador o *spike* (previa calibración) de estroncio enriquecido en su masa 84 para realizar la dilución isotópica. Luego una alícuota se utilizaba para la separación de estroncio en columna de intercambio iónico con resina catiónica. Estas columnas debían ser también calibradas previamente, para lo cual podía utilizarse el ^{85}Sr radioactivo y un contador de centelleo de rayos gamma o por intermedio de un equipo de absorción atómica, utilizando lámparas de cátodo hueco. En otra alícuota de la solución original se le agregaba el trazador enriquecido en el isótopo ^{87}Rb .

La composición isotópica del rubidio y del estroncio de cada muestra era determinada con el espectrómetro de masas de 6 pulgadas de radio de curvatura y electroimán de 60° , con detector tipo caja de Faraday y de un solo filamento de Ta (donde se colocaba la solución de la muestra). El equipo era de marca Nuclide de fabricación norteamericana (Fig. 6), ya antiguo cuando fue adquirido por la CIC y extremadamente lento para realizar el vacío necesario y siempre de una muestra por vez. Los controles electrónicos eran llevados a cabo en una consola de instrumentos y el registro era en papel que se desplazaba a medida que avanzaban los datos obtenidos de los isótopos de Sr y de Rb por separado. Los picos así obtenidos luego debían ser medidos prolijamente en sus alturas para calcular las relaciones isotópicas necesarias para cada muestra. Por otra parte era importante que sistemáticamente se hicieran mediciones de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ del estándar internacional (SrCO_3 'Eimer & Amend' del MIT) para comprobar el buen funcionamiento del equipo. Una vez obtenidos todos los datos se debían realizar los cálculos pertinentes de manera manual y llegar a la presentación del diagrama de isócronas con al menos tres muestras, logrando de esa manera obtener también la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial que era utilizada en el cálculo final de la edad.

En el detalle de la metodología brindada anteriormente se manifiesta claramente la complejidad que necesitaba cumplirse para llevar adelante el trabajo isotópico, que en primer lugar requería esforzarse para lograr la adquisición por la vía administrativa provincial de los elementos necesarios que en su mayoría eran de importación. En este punto creo oportuno aclarar el apoyo brindado por los Dres. Cordani y Kawashita del CPGeo, Sao Paulo, Brasil y también de la Dra. Verónica Gómez de Posadas, quien desarrollaba su Master en el MIT, bajo la dirección del Dr. Patrick Hurley, famoso geocronólogo norteamericano. La Dra. Gómez de Posadas, culminó su tesis analizando por el método Rb-Sr muestras del Complejo de Imataca, del Paleoproterozoico de Venezuela (Gómez de Posadas, 1966). Llegó a unir así su formación geológica con los aspectos geoquímicos adquiridos en la Universidad de La Plata reforzados con su especialización en el MIT. Por otra parte el Dr. Julio C. Merodio, quien cumplía sus tareas en la Facultad de Química de la Universidad de La Plata, colaboraba generosamente con mediciones del Sr y Rb total en el equipo de absorción atómica bajo su dirección.

Esta etapa inicial del laboratorio culminó con la publicación de Borrello y Venier (1967) de un dato Rb-Sr sobre biotitas (separadas en la CIC) del Granito de Aguas Blancas como parte del basamento de Sierra de la Ventana. El estudio isotópico fue realizado en los laboratorios de Berna, Suiza, bajo la dirección de la Dra. E. Jaeger, registrando un promedio sobre tres muestras de 492 Ma. Luego Venier (1970) expuso en la Reunión sobre la Geología de las Sierras Australes Bonaerenses,

organizada por Borrello con apoyo de la CIC en Bahía Blanca, lo que fue la primera mención de un dato radimétrico pero sin llegar a publicarse los resultados analíticos.

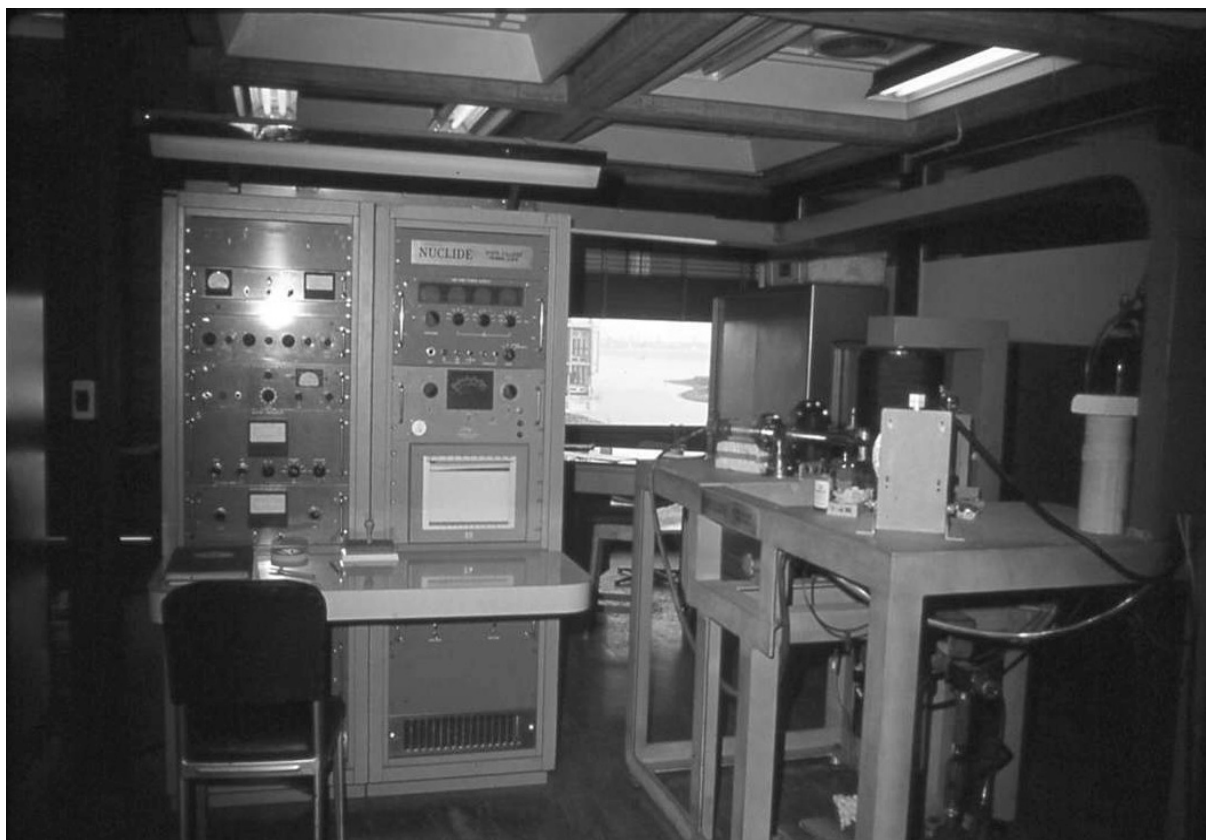


Figura 6. Espectrómetro de masas Nuclide 6-60-S del laboratorio Rb-Sr que originalmente perteneció a la CIC y que fuera luego trasladado en 1973 a la sede del INGEIS, donde se encuentra en la actualidad desactivado. Foto gentileza Dr. H. Osera.

Etapas de cambios en el grupo de trabajo y producción de las primeras dataciones

Hacia mediados de 1970, desarrollando la redacción final de mi trabajo de tesis doctoral en la División Geología del Museo de La Plata, ocurrió un cambio importante en la composición del grupo de investigación de la CIC. El Lic. José A. Venier, responsable del laboratorio Rb-Sr, comunicó que había decidido por razones familiares viajar a Bélgica de manera definitiva, de donde era originaria su esposa. Ante esta situación Borrello decidió que podía hacerme cargo del laboratorio Rb-Sr, conjuntamente con Ricardo Varela, quien también se encontraba en las etapas finales de su tesis doctoral. Borrello, quien había asumido un nuevo mandato como miembro del Directorio, sentía una fuerte presión de las autoridades de la CIC donde se había comprometido a hacer ‘funcionar un laboratorio único en el país’. En virtud de la situación, mi decisión fue de acceder pero con la condición que debía hacer una estadía en un laboratorio experimentado. Luego de varias consultas, el mismo Venier me vinculó con los directivos del Laboratorio de Mineralogía y Petrología de la *Université Libre de Bruxelles* (ULB), quienes contaban con la metodología Rb-Sr completa y equipamiento moderno. Estando de Presidente el Dr. A. Arvía y Secretario el Dr. H. Fasano, luego de presentación en concurso interno obtuve el apoyo de la CIC, habiendo resultado seleccionado prioridad del año 1970 y se me otorgó un subsidio de especialización en el exterior. Recibida la respuesta positiva del Prof. Jean Michot, titular del laboratorio de Bruselas, viajé a principios de 1971. La sugerencia de Borrello fue que tratáramos de analizar prioritariamente muestras correspondientes a la provincia de Buenos Aires, por lo que decidí llevar el material que habíamos colectado con Varela, luego de un muestreo sistemático en 1969 de todos los tipos litológicos expuestos como basamento de

la Sierra de la Ventana. Las muestras ya estaban trituradas y en parte concentrados minerales como biotitas y anfíboles, quedando un duplicado de cada muestra en la CIC para que Varela pudiera continuar preparando en forma paralela y así llegar a chequear los resultados. Ya en Bruselas, luego de unos meses de participación y entrenamiento en todas las actividades del laboratorio, comencé los ataques químicos de las muestras de la Sierra de la Ventana. En la parte de geocronología estaban a cargo la Dra. Sara Deutsch, el Dr. Paul Pasteels y en el sector de preparación química la Dra. D. Ledent. Luego había técnicos para el espectrómetro de masas, separación de minerales, etc. El Dr. Pasteels era el que estaba en ese momento trabajando también con U-Pb en circones por dilución isotópica y dirigía una tesis doctoral sobre Lu-Hf. Como hecho saliente marco la interacción que mantenía el laboratorio con otras áreas de química, física y ordenadores (con tarjetas perforadas), como así también con el Museo del África Central (Tervuren) cercano a Bruselas, dirigido por el Dr. M. Cahen. Muy destacadas personalidades científicas formaban parte de la Universidad de Bruselas como el Prof. Ilya Prigogine, importante investigador (luego premio Nobel de Química en 1977) quien trabajando en la temática del caos se interesaba en 'el tiempo y su origen'. Con la llegada al mismo lugar del Dr. Umberto Cordani, quien fuera invitado por el Museo del África Central, compartimos el mismo interés de trabajar en el método Rb-Sr. A medida que podía avanzar en el conocimiento de las técnicas de laboratorio fui informando de manera epistolar con detalles de descripciones y dibujos, lo que sugería hacer en La Plata donde Varela se destacaba por su seriedad y prolijidad en el trabajo fino de laboratorio. Así se logró arribar a los primeros resultados con la metodología Rb-Sr realizados totalmente en la CIC con las muestras de las rocas riolíticas de Sierra de la Ventana (Varela, 1973), cumpliendo en parte el sueño de Borrello que el laboratorio demostrara finalmente su funcionamiento (Fig. 7). Al poco tiempo también logré completar y publicar los resultados Rb-Sr de varias muestras del basamento de la Sierra de la Ventana (Cingolani & Deutsch, 1973), lo que permitió contrastar los datos existentes (Fig. 8).

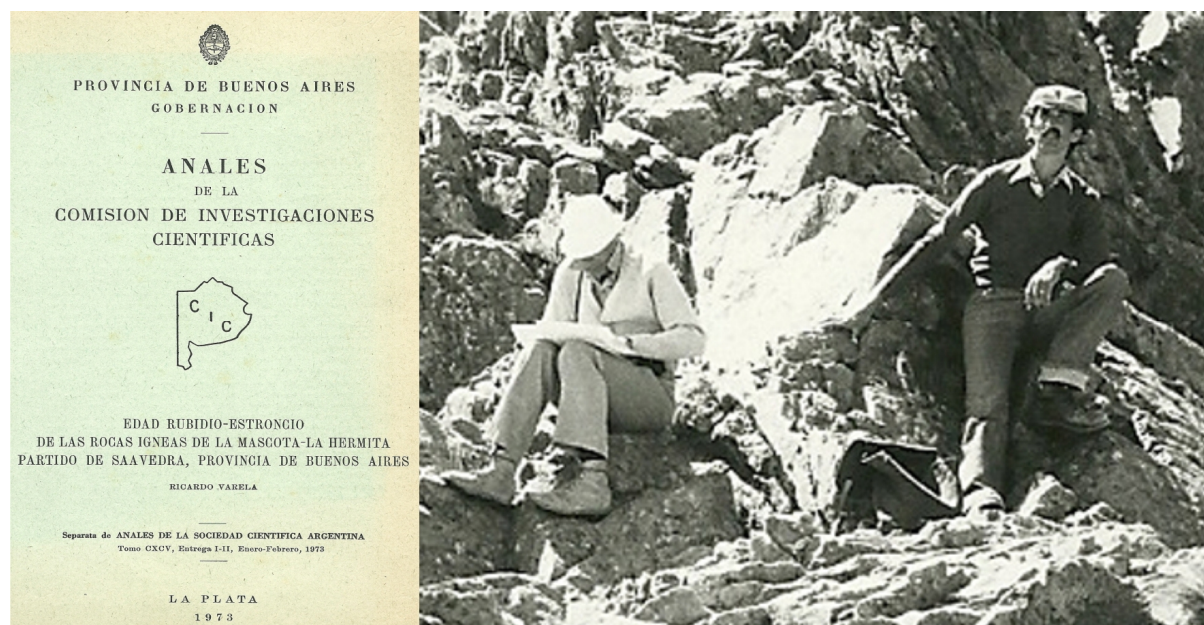


Figura 7. A la izquierda la primera publicación Rb-Sr de la CIC con todos los datos analíticos. En la foto el Dr. R. Varela (derecha) acompañado por el Dr. Robert Newton (Cape Town, Sudáfrica), en Sierra de la Ventana. Foto C. Cingolani, 1978.

Por lo expuesto, hacia fines de 1971 y principios de 1972 el laboratorio Rb-Sr de la CIC estaba funcionando, con la lentitud que permitía especialmente el espectrómetro de masas, pero ya todo encaminado en dirección correcta. El grupo de trabajo era pequeño, pero había entusiasmo y dedicación. A su vez siempre se contó con el asesoramiento del Dr. U. Cordani, del Dr. K. Kawashita,

de la Dra. V. Gómez de Posadas quien regresó luego de su estadía en MIT (USA) a la Universidad de La Plata y del Dr. J. Merodio de la misma Universidad.

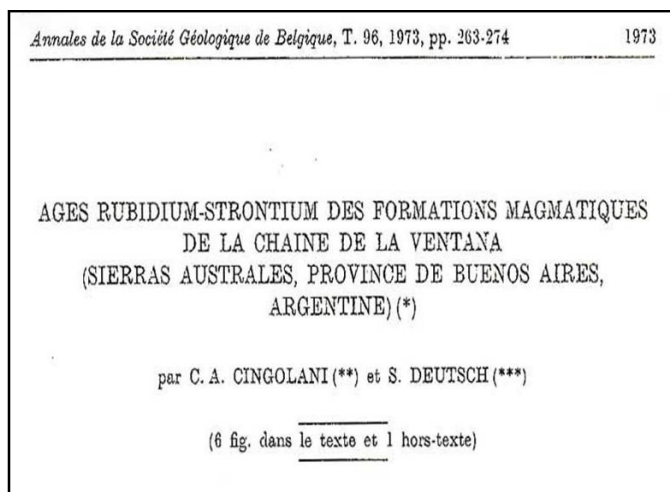


Figura 8. Publicación realizada en Bélgica en 1973.

El prematuro fallecimiento de Borrello

Cuando aún me encontraba en Bélgica trabajando con la beca de especialización, llegó la noticia del fallecimiento del Dr. Angel Borrello en octubre de 1971 a la edad de 53 años recién cumplidos. Esta noticia inesperada, aunque un año atrás había sufrido un infarto, nos causó a todos los que componíamos el grupo de trabajo, un fuerte impacto anímico negativo. Algunos días antes Borrello había participado con entusiasmo exponiendo sus temas de investigación en el Congreso Brasileiro de Geología que se había desarrollado en São Paulo, Brasil en septiembre de ese año y luego como invitado a dar la conferencia inaugural del Congreso Latinoamericano de Geología que tuvo lugar en octubre en la ciudad de San Juan, Argentina (Fig. 9). Desde esta localidad se trasladó Borrello a Mendoza, donde sufre un ataque cardíaco que provoca su fallecimiento.



Figura 9. Última foto de Borrello con un grupo de colegas asistentes al almuerzo de camaradería en el Congreso Latinoamericano de Geología Económica, San Juan en Octubre de 1971. Entre los presentes, en el lado izquierdo de la mesa (de frente) los Dres. Alfredo Tineo, Andrés Lencinas, Ricardo Sureda, Angel Borrello, Mario Rojo: en el sector izquierdo (de espaldas) Dres. Miguel Guerrero, Florencio Aceñolaza y señora, F. Quintana Salvat y señora, Jorge Blanco e Ing. Victorio Angelelli.

A pesar de este golpe anímico, las actividades en el laboratorio Rb-Sr de la CIC continuaron sin interrupción, pero ya se había perdido la fuerte influencia de Borrello como miembro del Directorio, donde se tomaban las decisiones importantes. Producido mi regreso a La Plata en 1972 para reintegrarme a la CIC donde se habían generado importantes cambios a nivel de las secretarías de la institución, comprobé que nuestra situación se iba debilitando aunque pudimos con Varela y colaboradores técnicos, seguir adelante con los planes de investigación en curso, a saber: completar los datos del basamento de Sierra de la Ventana y aportar al conocimiento geocronológico de las rocas ígneas y metamórficas de las Sierras Pampeanas de Córdoba.

Durante 1973 fuimos informados por las autoridades de la CIC, que la reestructuración de la misma tenía como objetivo dejar el edificio totalmente dedicado a las funciones administrativas, con lo cual el Departamento de Geología donde funcionaba el laboratorio Rb-Sr y otros institutos del área biológica debían trasladarse, para lo que se estaban discutiendo los lugares más adecuados para cada caso. Las autoridades de la CIC, que eran también miembros del CONICET, nos propusieron el traslado al INGEIS que estaba funcionando en la ciudad universitaria de Buenos Aires. Esto se concretó bastante rápidamente, sin que fueran aceptadas nuestras opiniones alternativas, pensando en un nuevo retraso considerable en el funcionamiento del laboratorio.

Por lo expuesto remarco que el fallecimiento de Borrello, fue el factor fundamental para que el proyecto de desarrollar un laboratorio de geocronología Rb-Sr en La Plata lamentablemente quedara inconcluso.

El traslado del laboratorio Rb-Sr de la CIC al INGEIS (Buenos Aires)

Decidido finalmente el traslado al INGEIS comenzamos todas las tareas para desmontar los lugares donde se realizaban las tareas de tritución y separación de minerales, ataque químico y espectrometría de masas. En este último caso debieron concurrir técnicos especializados para separar las partes más sensibles del equipo para su posterior envío al INGEIS. Ninguno de los técnicos que se habían formado en el laboratorio optaron por cambiar de lugar de trabajo, solamente Varela y el suscripto decidimos hacerlo especialmente pensando en todo el esfuerzo que Borrello había realizado para llegar a tener un 'laboratorio para datación del magmatismo'. La propuesta fue entonces cambiar de lugar de trabajo, integrarnos a la Carrera de Investigador del CONICET y desarrollar las tareas en el INGEIS bajo la dirección del Dr. E. Linares.

Para ello se asignó un espacio en el entepiso de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Departamento de Geología) de la Universidad de Buenos Aires, donde nuevamente comenzamos las tareas de montaje de la parte de tritución, del laboratorio químico con campana de extracción y recalibración de todo el instrumental, especialmente del espectrómetro de masas Nuclide, que fue ubicado al lado del que se usaba para argón. Cumplidas estas tareas durante varios meses, pudimos pensar nuevamente en reactivar los trabajos pendientes iniciados en la CIC. Había quedado algo por realizar que Borrello tenía mucho interés, era conocer la edad del basamento de las Islas Malvinas de acuerdo a la compilación que había efectuado (Borrello, 1963). Para ello planificamos y realizamos con Varela durante el verano de 1974 el viaje a las islas, efectuando los muestreos y estudios en el sector sur de la Isla Gran Malvina.

Luego se presentó en el V Congreso Geológico Argentino el trabajo más completo que pudimos concretar sobre las rocas ígneas expuestas en la Sierra de la Ventana (Cingolani & Varela, 1973) y en el Congreso Latinoamericano de Geología Económica de Buenos Aires, el artículo referido a las rocas ígneas y metamórficas de las Sierras Chica y Grande de Córdoba (Cingolani & Varela, 1975). Durante todo el año 1974 trabajamos casi exclusivamente con las rocas del Complejo Cabo Meredith de las Islas Malvinas, logrando finalmente una isócrona de más de 10 puntos de roca total, con una edad *ca.* 1000 Ma, que fue realmente de interés para la correlación del Mesoproterozoico con Namibia,

Sudáfrica y otros sectores gondwánicos (Cingolani & Varela, 1976). La buena alineación de las muestras de roca total y el hecho que la edad de biotitas también se ubicara dentro del rango de error, nos permitió discutir algunas interpretaciones sobre la actividad tectónica de la región. Trabajos posteriores de autores del exterior han confirmado estos valores por los métodos U-Pb sobre circones.

Hasta aquí pudimos llegar con la producción de los trabajos con datos Rb-Sr iniciados de alguna manera en la CIC y completados en INGEIS con el equipamiento que había sido trasladado, como ya fuera expresado.

Etapas de laboratorio Rb-Sr intermediario en el Centro de Investigaciones Geológicas

Por varios motivos hacia 1975 tomé la decisión de regresar a La Plata, para integrarme nuevamente a la División Geología del Museo de La Plata y R. Varela lo hará un par de años después también. En ese momento el grupo de investigadores que trabajaban en el denominado Instituto de Mineralogía, Petrología, Sedimentología y Geoquímica (IMPSEG) y parte de los integrantes de la División Geología, ambos del Museo de La Plata, resolvimos crear un centro de mayor envergadura, que agrupara las áreas temáticas básicas de las ciencias de la Tierra. Así se constituyó en 1980 el Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) dentro del ámbito de la Facultad y Museo de La Plata. Luego pasó a ser de triple dependencia (UNLP-CONICET-CIC), logrando el traslado a un edificio de la calle 1 n. 644, de La Plata. Con mejor espacio que en el Museo se procedió nuevamente al montaje de un laboratorio de trituración, de separación de minerales y todo lo correspondiente a laboratorio 'limpio' de química para Rb-Sr con campana de extracción, con todo lo necesario para la preparación en digestión ácida de las muestras. Se conformó así lo que se denomina 'laboratorio Rb-Sr intermediario' donde solamente faltaba el equipamiento para los análisis isotópicos finales (espectrómetro de masas). Esta tarea final dirigida por el Dr. R. Varela y luego por la Dra. A. M. Sato se realizó en virtud de que continuaba la fructífera cooperación con São Paulo y otros laboratorios de Brasil, la cual se mantiene activa hasta la actualidad.

Participación en simposios y reuniones científicas

A pesar de la escasa producción de datos geocronológicos que podíamos generar en nuestros laboratorios, se ha participado en casi todos los simposios y reuniones de la especialidad. Ello permitió ampliar la cooperación con Brasil y profesionales de otros países. Un evento importante organizado dentro de los programas de UNESCO correspondiente al IGCP, fue el Proyecto 120 sobre Evolución Magmática de los Andes (1975-1985) dirigido por el Dr. U. Cordani. La reunión final del mismo efectuada en Santiago de Chile (Fig. 10), fue un ejemplo que permitió ampliar considerablemente la producción de datos geocronológicos por diversos métodos y especialmente un estrecho contacto con geocronólogos y profesionales interesados en la geología isotópica de las universidades de Chile (Dres. F. Hervé, F. Munizaga, M.A. Parada), de Alemania (Dr. H. Miller), del Reino Unido (Dr. R. Pankhurst), entre otros.

Posteriormente se fueron programando diversas actividades científicas de relevancia para la geocronología sudamericana, entre ellos destacamos la organización de los *South American Symposium on Isotope Geology (SSAGI)* donde el primero tuvo lugar en 1997 en Campos do Jordao (SP, Brasil), el siguiente fue organizado en Argentina en Villa Carlos Paz, Córdoba (1999) donde participamos de la planificación del mismo los Dres. Ostera, Varela, Panarello y el suscrito, bajo la dirección del Dr. E. Linares (Fig. 11). Esta continuidad y la creciente y activa participación de la comunidad geológica interesada permitió que siguieran en Pucón (Chile) 2001, Salvador (Brasil) 2003, Punta del Este (Uruguay) 2006, nuevamente Argentina 2008 en Bariloche, luego Brasilia 2010, para seguir en Medellín, Colombia 2012, en São Paulo, Brasil 2014 coincidente con la celebración de

los ‘50 años de Geocronología del Centro de Pesquisas Geocronológicas’ y el último en Puerto Vallarta, México en 2016. Estos simposios marcaron claramente la importancia de las investigaciones geocronológicas en Sudamérica que fue creciendo a ritmo sostenido especialmente en Brasil. Allí se encuentran en funcionamiento seis laboratorios completos a saber: CPGeo, IGc - USP – São Paulo, SP, 1964; Pará-Iso – UFPa – Belém 1985; IG -UNB, Brasília, DF, 1997; IG - UFRGS - Porto Alegre, RS, 2000; Fac. Geología, UERJ - Rio de Janeiro, RJ, 2005; Degeo, UFOP - Ouro Preto, MG, 2013. A ello debemos agregar el INGEIS, Buenos Aires, desde 1970, el Laboratorio de Radiocarbono del Museo de La Plata, 1976, el Laboratorio de Geología Isotópica del SERNAGEOMIN, Santiago, Chile, 1980 y el laboratorio intermediario del CIG, La Plata.



Figura 10. Acto inaugural del Simposio Final del Proyecto 120 en Chile, 1995. El Dr. Alfredo Lahsen como Director del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, dando palabras de bienvenida. En el estrado se encuentran de izquierda a derecha, el Dr. Igor Saavedra, representante de la Academia de Ciencias de Chile, el Dr. Enrique Linares, Director del INGEIS, Buenos Aires, el Prof. Atilano Lamana, Decano de la Facultad de Ciencias, Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y el Dr. Umberto G. Cordani, Director del Proyecto IGCP 120.

Epílogo

Por lo que fue relatado previamente, el Proyecto Borrello originalmente pensado para desarrollar en el ámbito de la CIC de la provincia de Buenos Aires, por diversas circunstancias entre las que estuvo el fallecimiento prematuro del mencionado investigador, no pudo alcanzar el desarrollo previsto. A ello se agregó la falta de comprensión de autoridades para seguir brindando apoyo al laboratorio, que tenía un enorme potencial científico dentro de la provincia y del país.

Desde 1980 es evidente que la Geocronología y la Geología Isotópica se expandieron en todos los continentes, con diversas líneas de investigación en la datación de eventos geológicos y evolución de la corteza. Los desarrollos tecnológicos cada vez más modernos y los avances en la generación de laboratorios especiales han permitido que los diferentes métodos geocronológicos y su aplicación a la comprensión de los procesos geológicos más diversos, inclusive a la calibración de la escala cronoestratigráfica internacional (IUGS), fueran utilizados por la comunidad geológica dedicada a las más amplias especialidades (Knell & Lewis, 2001; Yochelson & Lewis, 2001). Mucho debemos en Argentina a quienes dedicaron su esfuerzo, como Borrello, para que esto fuera al menos mantenido como una política científica prioritaria dentro de las ciencias de la Tierra.



Figura 11. Acto inaugural del II SSAGI, en Córdoba 1999. De izquierda a derecha Dres. Ricardo Varela, Carlos Cingolani, Pedro Stipanovich, Enrique Linares (Presidente comité organizador), Umberto Cordani y Francisco Hervé.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al Dr. Umberto Cordani (USP, Brasil), por alentarme permanentemente a continuar con las investigaciones geocronológicas y haberme brindando el acceso a varias de las fotografías históricas que se han agregado al presente texto. Mi reconocimiento también al Dr. Koji Kawashita (USP, Brasil) por haber estado siempre dispuesto a responder consultas y a solucionar problemas de laboratorio. Al Dr. Ricardo Varela con quien he compartido buena parte de la historia aquí relatada. Finalmente al Dr. Norberto J. Uriz (UNLP) por su ayuda en la preparación final de las figuras y revisión del manuscrito. A los Dres. U. Cordani y A. Riccardi por la lectura crítica y sugerencias realizadas que permitieron mejorar el trabajo.

Bibliografía

- Almeida, F.F.M. de 1971. Geochronological division of the Precambrian in South America. *Revista Brasileira de Geociencias*, 1(1): 13-21. Sao Paulo.
- Borrello, A.V. 1961. Nomenclatura geosinclinal y geotectónica conexa. *Anales Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires*, 2: 323-330. La Plata.
- Borrello, A.V., 1963. *Sobre la Geología de las Islas Malvinas*. Ministerio de Educación y Justicia, Ediciones Culturales Argentinas, 70 p. Buenos Aires.
- Borrello, A.V. 1969. *Los geosinclinales de la Argentina*. Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales XIV, 188 p. Buenos Aires.
- Borrello, A.V. & Venier, J.A. 1967. Nuevos caracteres geológicos del Granito de Aguas Blancas, Dufaur, Provincia de Buenos Aires. *Notas Comisión de Investigación Científica*, 5(2): 1-7. La Plata.

- Cazeneuve, H. 1965. Datación de una toba de la Formación Chon Aike (Jurásico de Santa Cruz, Patagonia), por el método potasio-argón. *Ameghiniana*, 4 (5): 156-158. Buenos Aires.
- Cazeneuve, H. 1967. Edades isotópicas del basamento de la provincia de Buenos Aires. *Ameghiniana*, 5(1): 3-10. Buenos Aires.
- Cingolani, C. & Deutsch, S. 1973. Ages Rubidium-Strontium des formations magmatiques de la Chaîne de la Ventana (Sierras Australes), Province de Buenos Aires, Argentine. *Société Géologique de Belgique* (Liege), 96, fasc. II, 263-274.
- Cingolani, C.A. & Varela, R. 1973. Examen geocronológico por el método rubidio-estroncio de las rocas ígneas de las Sierras Australes bonaerenses. *Actas 5to. Congreso Geológico Argentino, Córdoba*, 1: 349-371. Buenos Aires.
- Cingolani, C.A. & Varela, R. 1975. Geocronología Rubidio-Estroncio de rocas ígneas y metamórficas de las Sierras Chica y Grande de Córdoba, República Argentina. *II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica*, I: 9-35, Buenos Aires.
- Cingolani, C.A. & Varela R. 1976. Investigaciones geológicas y geocronológicas en el extremo sur de la Isla Gran Malvina, sector de Cabo Belgrano (Cabo Meredith), Islas Malvinas. *Sexto Congreso Geológico Argentino*, 3: 457-473 (Bahía Blanca). Buenos Aires.
- Cordani, U. 2014. *50 years of geochronology in South America*. Instituto de Geociencias, Universidade de São Paulo. CD-Rom.
- Cortelezzi, C.R. & Cazeneuve, H. 1967. Estudio geocronológico de los basaltos de Nogoyá (Entre Ríos) y su relación con las rocas efusivas del sur de Brasil y Uruguay. *Revista Museo de La Plata, N.S., Geología* 6, 39: 19-32. La Plata.
- Cortelezzi, C.R. & Dirac, M. 1969. Edad de los basaltos de Neuquén y La Pampa. *Atas. Jornadas Geológicas Argentinas*, Mendoza, 2: 95-100. Buenos Aires.
- Dessanti, R.N. & Caminos, R. 1967. Edades potasio-argón y posición estratigráfica de algunas rocas ígneas y metamórficas de la Precordillera, Cordillera Frontal y Sierras de San Rafael, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 22(2): 135-162. Buenos Aires.
- Gómez de Posadas, V. 1966. *Rb-Sr whole rock age in the Imataca Complex, Venezuela*. Degree of Master of Science at the Massachussets Institute of Technology, May 1966. USA.
- Halpern, M. & Linares, E. 1970. Edad rubidio-estroncio de las rocas graníticas del basamento cristalino del área de Olavarría, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25 (3): 303-306. Buenos Aires.
- Holmes, A. 1913. *The Age of the Earth*. Harper & Brothers, London and New York.
- Holmes, A. 1962. 'Absolute age': a meaningless term. *Nature*, 196: 665.
- Hurley P.M., Almeida, F.F.M.de, Melcher, G.C., Cordani, U.G., Rand, J.R., Kawashita,K., Vandomos, P., Pinson, W.H., Fairbairn, H.W. 1967. Test on continental drift by comparison of radiometric ages. *Science*, 157 (3788): 495-500.
- Knell, S.J. & Lewis, C.L.E. 2001. Celebrating the age of the Earth. In: Lewis, C. & Knell, S (Eds.). *The age of the Earth from 4004 BC to AD 2002*. Geological Society of London, Special Publications 190: 1-14. London.
- Kulp, L.J. 1955. Isotopic dating and the geologic time scale. Special Paper 62, *Geological Society of America*, 609-630.
- Kulp J.L. 1961. Geologic time scale. *Science*, 133(3459): 1106-1114.
- Linares, E. 1961. Los métodos geocronológicos y algunas edades de la Argentina por medio de la relación plomo-uranio. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 14 (3-4): 181-217. Buenos Aires.
- Linares, E. 1966. Datación geológica de las rocas graníticas de las sierras de Córdoba por medio del método plomo-alfa (Larsen). *3ras. Jornadas Geológicas Argentinas*, Comodoro Rivadavia, 2: 199-206. Buenos Aires.
- Linares, E. & Latorre, C.O. 1969. Edades potasio-argón y plomo-alfa de rocas graníticas de Córdoba y San Luis. *4tas. Jornadas Geológicas Argentinas*, Mendoza. 2: 195-204. Buenos Aires.

- Patterson, C.C. 1956. Age of meteorites and the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 10:230-237.
- Stipanovic, P.N. 1967. Consideraciones sobre las edades de algunas fases magmáticas del Neopaleozoico y Mesozoico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 22 (2): 101-133. Buenos Aires.
- Stipanovic, P. & Linares, E. 1975. Catálogo de edades radimétricas determinadas para la República Argentina, I Años 1960-1974. *Asociación Geológica Argentina, Publicaciones Especiales Serie B (Didáctica y Complementaria)*, 3: 1-42. Buenos Aires.
- Valencio, D.A., Linares, E. & Creer, K.M. 1970. Paleomagnetismo y edades geológicas de algunos basaltos terciarios y cuaternarios de Mendoza y Neuquén. *Actas 4tas. Jornadas Geológicas Argentinas*, Mendoza, 2: 397-415. Buenos Aires.
- Varela, R. 1973. Edad rubidio-estroncio de las rocas ígneas de La Mascota-La Ermita, partido de Saavedra, Provincia de Buenos Aires. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, CXCIV, entrega I-II: 71-80.
- Venier, J.A. 1970. Edades radimétricas del Granito del Basamento de la Sierra de la Ventana. *Reunión sobre la Geología de las Sierras Australes Bonaerenses, Bahía Blanca*. Resúmenes p. 11. Comisión de Investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires. La Plata.
- Yochelson, E.L. & Lewis, Ch., L.E. 2001. The age of the Earth in the United States (1891-1931): from the geological viewpoint. In: Lewis, C.L.E. & Knell, S.J. (eds.) *The Age of the Earth: from 4004 BC to AD 2002*. Geological Society of London, Special Publications, 190: 139-155. London.

Recibido: septiembre 2016

Aceptado: octubre 2016